

Aalto-yliopisto
Insinööritieteiden korkeakoulu
Rakennus- ja ympäristötekniikan koulutusohjelma

Raitioliikenteen ratasuunnitteluperiaatteet linjanopeuden optimoinnin kannalta

Kandidaatintyö

9.12.2014

Sakari Metsälampi

Tekijä Sakari Metsälampi		
Työn nimi Raitioliikenteen ratasuunnitteluperiaatteet linjanopeuden optimoinnin kannalta		
Koulutusohjelma Rakennus- ja ympäristötekniikka		
Pääaine Liikenne- ja tietekniikka	Pääaineen koodi R3004	
Vastuupettaja Simo Hostikka		
Työn ohjaaja(t) Antero Alku, Jouni Ojala		
Päivämäärä 09.12.2014	Sivumäärä 29	Kieli Suomi

Tiivistelmä

Raitioliikenne elää kukoistuskauttaan – uusia järjestelmiä perustetaan ja vanhoja modernisoidaan ympäri maailmaa. Uudet raitiotiet hyödyntävät uusimpia suunnittelun suuntaviivoja ja uusinta teknologiaa, joiden avulla liikennöinti on nopeaa ja varmaa. Samaan aikaan Helsingissä raitioliikenne on hidastunut vuosi vuodelta.

Tässä kandidaatintyössä kartoitetaan niitä raitioliikenteen ratasuunnittelullisia piirteitä, joilla on vaikutusta linjanopeuteen. Ratasuunnittelua käsitellään väylän laadun näkökulmasta: mitä vaikutusta nopeuteen on liikennöintiympäristöllä, radan erottelulla sekä ratateknisillä ratkaisilla kuten ristikoilla ja vaihteilla? Työssä vertaillaan Helsingin katuraitiotietä nykyaikaisiin raitioteihin.

Aineisto tutkimukseen kerättiin havainnoimalla raitiovaunusta käsin liikennettä hidastavia tekijöitä. Samalla kerättiin talteen vaunun jättämää GPS-jälkeä. Yhdistämällä havainnot ja GPS-tiedot muodostettiin kuva raitioliikenteen hitauteen keskeisesti vaikuttavista tekijöistä. Havainnointi suoritettiin Helsingissä raitiolinjalla 1.

Nykyaikainen raitioliikenne perustuu häiriöttömään liikennöintiin ja siitä seuraavaan ennakoitavuuteen. Ennakoitavuus mahdollistaa tehokkaiden liikenne-etuuksien järjestämisen. Nykyaikainen ratasuunnittelu minimoi häiriöiden vaikutuksen joko erottamalla raitiotien muusta liikenteestä tai muilla keinoin.

Helsingin rataverkko taas on rakentunut kaduille, joille oman väylän varaaminen ei ole syystä tai toisesta mahdollista. Helsingissä raitioliikenteen hitaus johtuukin ennen kaikkea sen ulkoisista ja satunnaisista häiriötekijöistä juontuvasta epätasaisuudesta, joka estää nykyaikaisten suunnittelukäytäntöjen hyödyntämisen. Myös vanhentuneet ratatekniset ratkaisut, kuten tiukat kaarresäteet ja matalauraiset vaihteet hidastavat raitiovaunuliikennettä osaltaan.

Avainsanat raitioliikenne, ratasuunnittelu, linjanopeus, Helsingin raitioliikenne

Sisällys

Käsitteitä.....	4
1 Johdanto	5
2 Tutkimusasetelma ja tutkimuksen taustaa.....	7
2.1 Raitioliikenne Helsingissä	7
2.1.1 Nykytilanne ja järjestelmän kuvaus	7
2.1.2 Nopeuttamisen kannustimet.....	9
2.2 Modernin raitioliikenteen tunnusmerkit ja suunnittelukäytännöt.....	9
2.2.1 Nottingham	10
2.2.2 Reims	10
2.2.3 Tampere	11
3 Havainnot ja aineisto	13
3.1 Aineiston keruu ja menetelmät	13
3.2 Lähtökohtia: Raitiolinja 1	14
3.3 Havainnot.....	16
3.3.1 Pysähdykset: äärimmäistä hitautta.....	16
3.3.2 Miksi pysähdytään?	17
3.3.3 Mikä hidastaa?	18
4 Johtopäätöksiä	21
4.1 Liikennöintiympäristö.....	21
4.2 Linjasto- ja aikataulusuunnittelu.....	22
4.3 Nopeuden optimointi	22
4.4 Pysäkit.....	23
4.5 Liikennevalot	23
4.6 Lopuksi	24
5 Yhteenveto	26
Lähteet.....	28

Käsitteitä

Keskinopeus.

Keskimääräinen liikennöintinopeus, joka ei sisällä pysäkkiaikoja.

Kierrosaika.

Aika, joka vaunulla kuluu kiertäessään koko reitin alkupisteestä takaisin alkupisteeseen.

Liikennevaloetus (tai liikenne-etus).

Valoristeyksissä joukkoliikennevälineelle, tässä työssä raitiovaunulle, annettava etuus, joka pyrkii varmistamaan vaunun mahdollisimman häiriöttömän kulun risteuksen läpi. Nykyaikaiset joukkoliikenteen valoetudet perustuvat liikennevälineen havaitsemiseen hyvissä ajoin ennen valoristeystä. Tunnistaessaan lähestyvän joukkoliikennevälineen, järjestelmä muokkaa risteuksen valokiertoa antamalla välineelle etuuden valokierron vaiheesta riippumatta.

Linjanopeus.

Keskimääräinen liikennöintinopeus, johon sisältyy pysäkkipysähdyksissä vietetty aika.

Matkustusaika.

Matkustajan koko matkustukseen kuluva aika: siis matkan lähtöpisteestä päätepisteeseen kuluva aika.

Myötävaihte.

Vaihte, jossa vaunun kulkusuunta on risteyskappaleelta kohti vaihteen kielten kärkiä. Myötävaihteessa kaksi rataa yhdistyy yhdeksi.

Nousu.

Liikennevälineen käyttöä kuvaava mittari, joka tarkoittaa yhden matkustajan nousemista liikennevälineeseen.

Pysähdyskerroin.

Havainnollistava luku, joka kertoo raitiovaunun pysähdysten määrän suhteessa pysäkkien määrään. Pysähdyskerroin kertoo, kuinka kaukana optimaalisesta, modernin raitiojärjestelmän pelkästään pysäkeillä tapahtuvista pysähdyksistä ollaan. Luku 1 vastaa tilannetta, jossa raitiovaunu pysähtyy ainoastaan pysäkeillä.

Vastavaihte.

Vaihte, jossa vaunun kulkusuunta on vaihteen kielten kärjestä kohti risteuksen kärkeä. Vastavaihteessa yksi raide haarautuu kahdeksi.

1 Johdanto

Raitioliikenne on tehnyt 1980-luvulta lähtien paluuta kaupunkien joukkoliikenteen järjestämisen työkalupakkiin. Hiljaisten sodanjälkeisten vuosikymmenten jälkeen alkanutta uusien raitiojärjestelmien rakentamisbuumia kuvataan usein *raitoliikenteen renessanssina*. Uusia järjestelmiä rakennetaan ripeään tahtiin ja vanhoja modernisoidaan. Nykyaikaiset suunnittelu- ja toteutuskäytännöt mahdollistavat raitiovaunuliikenteen nopean ja tehokkaan toiminnan.

Myös Helsinki on laajentamassa raitioliikenneverkkoaan. Kantakaupungin uusien alueiden lisäksi kaupunki on parhaillaan laatimassa selvitystä mahdollisista esikaupunkiraitioteistä. Helsingin raitioliikenne on kuitenkin Euroopan mittapuulla hidasta. Se toimiikin tutkimuksessa esimerkkinä, johon raitiotien moderneja sovelluksia verrataan.

Raitioliikenne on Helsingissä hidastunut viimeisen kahdenkymmenen vuoden aikana nopeustoimista huolimatta. Vuonna 2004 Helsingin kaupunginvaltuusto hyväksyi raitioliikenteen tavoitteeksi keskinopeuden noston silloisesta 14,9:stä 15,5:een kilometriin tunnissa vuoteen 2012 mennessä (HSL 2009, 43). Tavoitetta ei saavutettu, ja esimerkiksi keväällä 2009 järjestelmän mitattu keskinopeus oli alle 14,3 km/h. Uudempi strategia (HSL 2010) linjasi raitioliikenteen nopeustavoitteeksi 4 % parannusta vuoden 2010 tasoon nähden, jolloin raitiojärjestelmän keskinopeus oli 14,7 km/h. Tavoite keskinopeudeksi on siis noin 15,3 km/h, joka on kansainvälisillä mittareilla katsoen sangen vaatimaton.

Hidas keskinopeus vaikuttaa raitioliikenteen puoleensavetävyyteen ja nostaa liikennöintikustannuksia. Se myös rajoittaa rataverkon laajentamista. Helsingin seudun liikenne (HSL) on linjannut lähestyvän raitioliikenteen nopeuttamista linjakohtaisten kehittämissuunnitelmien avulla. Kehittämissuunnitelmia on toistaiseksi valmistunut linjoille 8 (2011) sekä 2, 3 ja 7 (2013a).

Tämän kandidaatintyön tavoitteena oli kartoittaa ja paikantaa niitä raitioliikenteen ratasuunnittelullisia piirteitä, joilla on vaikutusta linjanopeuteen. *Linjanopeus* eroaa yllä esitetystä *keskinopeudesta* siinä, että toisin kuin keskinopeus, se sisältää myös raitiovaunun pysäkkipysähdysaikaa käyttämän ajan. Ratasuunnittelua käsiteltiin väylän laadun näkökulmasta: mitä vaikutusta nopeuteen on liikennöintiympäristöllä, radan erottelulla sekä ratateknisillä ratkaisuilla kuten ristikoilla ja vaihteilla? Tutkielma sivuaa, muttei varsinaisesti käsittele linjojen välistä synkronoitua aikataulusuunnittelua – se kuuluu ennemminkin linjastosuunnittelun piiriin. Liikennevaloetuksia tarkasteltiin siitä näkökulmasta, miten ratasuunnittelun kautta pystytään optimoimaan niiden toiminta.

Tutkimusaineisto kerättiin havainnoimalla raitiovaunusta käsin liikennettä hidastavia tekijöitä. Samalla kartoitettiin GPS-tietoja vaunun liikkumisesta. Yhdistämällä tutkijahavainnot kerättyyn GPS-dataan eroteltiin hitauteen johtavia syitä.

Tutkimusaineiston keräys kohdistettiin Helsingin raitiolinjalle 1 (Kauppatori–Käpylä). Raitiolinjan 1 valintaa perusteli se, että linja kiertää ydinkeskustan ja on liikennöintiympäristönsä kannalta sangen monipuolinen. Linjan reitti kulkee tiiviin korttelikaupungin läpi kohti Mäkeläkadun muusta liikenteestä eroteltua väylää. Ydinkeskustan välttäminen näyttäytyi analyysin kannalta edullisena, sillä se on havainnointiympäristönä hankala – vähemmän liikennöidyillä väylillä havainnointi on helpompi kohdistaa yksittäisiin hidastaviin tekijöihin.

Tutkielma peilaa Helsingin raitioverkkoa myös ulkomaisiin nykyaikaisiin raitiojärjestelmiä toteutuksiin ja suunnitteluohjeisiin. Mitä on nykyaikainen raitoliikenne? Mitkä ovat näiden käytäntöjen toteuttamismahdollisuudet Helsingissä? Mihin toimiin pitäisi ryhtyä, jotta Helsingin raitoliikenne saataisiin nopeutumaan?

Luvussa 2 tarkastellaan lähtöasetelmaa – Helsingin raitoliikenteen nykytilaa, rataverkkoa ja liikennöintiympäristöä. Lisäksi pureudutaan tarkemmin nopeuttamisen tuomiin mahdollisuuksiin. Tämän jälkeen käydään läpi esimerkkejä raitoliikenteen moderneista toteutuksista, Reimsin ja Nottinghamin jo toteutuneista sekä Tampereen suunnitellusta, raitioteistä. Esimerkit kartoittavat raitoliikenteen nopeuspotentiaalia ja valaisevat nykyaikaisen raitoliikenteen suunnitteluperusteita. Helsingin tilanteen kontrastointi nopeamman liikennöinnin raitiovaunukaupunkeihin johdattelee syihin, joiden takia liikenne on hidasta.

Kolmannessa luvussa puretaan havainnot raitiovaunuliikennettä hidastavista tekijöistä. Neljäs luku peilaa havaintoja ratasuunnittelullisiin ratkaisuihin ja niiden toteuttamiskelpoisuuteen Helsingissä. Taipuuko vanha rataverkko uusiin käytäntöihin?

2 Tutkimusasetelma ja tutkimuksen taustaa

2.1 Raitioliikenne Helsingissä

2.1.1 Nykytilanne ja järjestelmän kuvaus

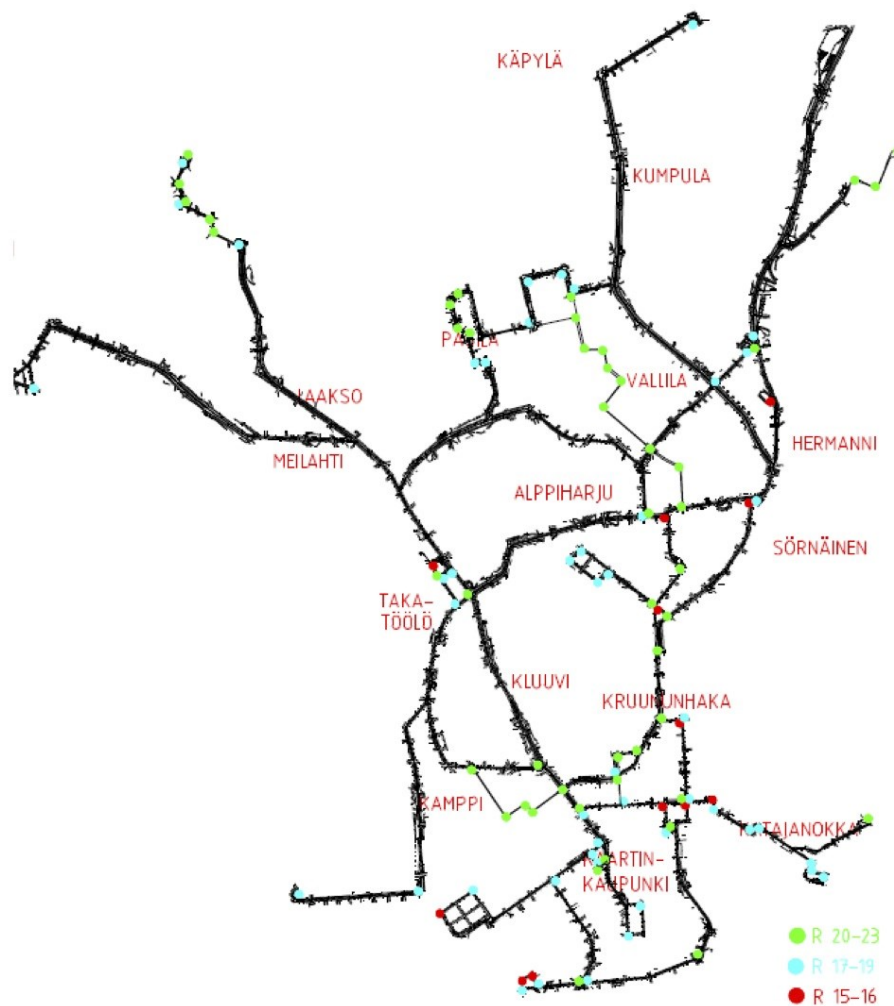
Helsingin raitioliikenteen rataverkon raidepituus on 117,1 km. Näistä linjakäytössä on 96 km. Rata on linjojen päätesilmukoita lukuun ottamatta kaksiraiteista, joten Helsingin rataverkon ratapituus on puolet raidepituudesta eli noin 59 kilometriä. Linjaliikenteen käytössä on 48 kilometriä pitkä verkosto. Raitioliikenteelle on varattu omat kaistat vähän yli puolella raitioverkon pituudesta (59,6 km/24 km). (HKL:n www-sivut 2013.) Vuonna 2013 raitiovaunulla tehtiin 56,7 miljoonaa nousua. Lähtöjä oli arkipäivisin 2457 ja näistä toteutui yli 99 %. (HSL 2013b, 22–23.)

Helsingin raitioverkko on perinteinen katuraitiotie ja toimii keskusta-alueen, tai laajemmin kantakaupungin¹, pääasiallisena kulkumuotona. Helsingin rataverkko on rakentunut pääosin sotia edeltävänä aikana ja suurimmaksi osaksi ympäristöön, joka ei salli optimaalisia ratkaisuja liikennöinnin kannalta. Rataverkko sisältääkin paljon liikennettä hidastavia sekä raitiovaunujen kestävyyttä koettelevia kohtia, kuten tiukkoja kaarteita ja jyrkkää pituuskaltevuutta. Haastava geometria onkin aiheuttanut ongelmia raitiovaunujen kestävyiden kannalta.

Haastava geometria toimikin kannustimena kaupungin tilatessa uusia raitiovaunuja. Kaupunki ei halunnut toistaa edellisen Variotram-matalalattiavaunusarjan kanssa ilmenneitä kestävyysongelmia. Tarjouskilpailun voittanut suomalainen Transtech suunnitteli vaununsa erityisesti Helsingin *hankala* rataverkko huomioiden (Transtech/HKL 2012, 6). Kuvassa 1 on esitettyä kaavio raitioverkon kaarresäteistä.

Helsingin raitiolinjastossa pysäkkejä on tiheään – keskimäärin 350 metrin välein. Liikennöintiympäristön takia raitiolinjaston reiteillä liittymiä on paljon ja tiheään. Liittymät ovat liikenteen ongelmakohtia ja korkea liittymätiheys korreloi suoraan liikennöinnin häiriöiden määrän kanssa. Lisäksi se vaikeuttaa liikennevaloetuuksien järjestämistä – keskeistä tehokkaalle liikennevaloetusjärjestelmän toiminnalle on, että järjestelmä havaitsee vaunun mahdollisimman aikaisin ja pystyy siten varmistamaan esteettömän kulun. (Hakala 2014, 40.)

¹ Yhtenä määrittelynä kantakaupungille kansalaisten keskuudessa on, eli se osa kaupunkia, jota raitiovaunut palvelevat. Virallisissa julkaisuissa (ks. esim. Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto 2014) kantakaupunki määritellään kuitenkin hieman raitiolinjaston kattamaa aluetta suppeammaksi.



Kuva 1. Helsingin rataverkon tiukat kaarresäteet (HSL 2009, 35).

Helsingissä liikennevalot on varustettu niin sanotulla HELMI²-järjestelmällä. Järjestelmä perustuu keskeisesti raitiovaunun sijainnin GPS-paikantamiseen pysäkin tarkkuudella – oven avaus pysäkillä määrittää vaunun sijainnin tarkasti. Pysäkkien välissä vaunun paikannus tapahtuu odometrilla, eli tarkkuusmatkamittarilla. Lähestyvä vaunu lähettää signaalin liikennevalojen ohjauskoneelle, joka käynnistää etuustoiminnon. (Hakala 2014, 41.) HSL:n (2012a, 73) mukaan Helsingin kaikki raitioliikenteen risteykset on varustettu liikennevaloetuuksilla. HELMI ei kuitenkaan ole liikennevaloetusjärjestelmä sanan nykyaikaisessa merkityksessä, sillä se ei varmista risteystä lähestyvälle vaunulle vapaata kulkua risteyksessä. Onkin ehkä oikeampi puhua vaunun *tunnistusjärjestelmästä*. HELMI:n yhdeksi tärkeimmistä tehtävistä onkin muodostunut vaunujen sijaintitietojen tallentamisen kautta saatava informaatio liikennöinnistä, jota tässäkin työssä hyödynnetään.

Liikennevaloetuuksien tehokasta toteuttamista Helsingissä vaikeuttaa raitioliikenteen keskittyminen pienelle alueelle. Tämä johtaa linjaliikenteen keskittymiseen tietyille katuosuuksille – vaunutiheyden ollessa korkea valoetudet eivät ehdi normalisoitua vaunujen välissä. Myös

² HELMI = Helsingin Liikennevaloetus- ja MatkustajaInformaatio

keskenään risteävillä linjoilla tehokkaiden valoetuuksien järjestäminen on mahdotonta ilman täsmällisesti toimivaa liikennöintiä ja hyvin synkronoitua aikataulusuunnittelua.

2.1.2 Nopeuttamisen kannustimet

Keskeinen argumentti raitioliikenteen nopeuttamisen puolesta on hitauden suora kustannuksia nostava vaikutus. HKL (2005, 21) esittää liikennöinnin nopeuden merkittävimpänä kustannuksiin vaikuttavana tekijänä. Helsingissä raitioliikenteen tuotantokustannukset ovatkin lauttaliikenteen jälkeen suurimmat.

Raitioliikenteen tuottamisen kustannukset jakautuvat kuljetun matkan kustannuksiin sekä aikakustannuksiin. Raitiovaunun energiankulutus on alhainen, mistä johtuen aikakustannukset muodostavat kokonaiskustannuksista valtaosan.

Vaikka raitioliikenteen tuotantokustannukset ovat suuret, ei kuitenkaan voida yksinkertaistaa liikennöinnin olevan kallista. Raitioliikenteellä tehtävät matkat ovat verrattain lyhyitä – HSL:n (2014) mukaan keskimääräisen matkan pituus on vain 2,1 km. Raitioliikenteen tuotto nousijaa kohti onkin hyvä. Lyhyt keskimatkan pituus ja nousijoiden suuri lukumäärä nostavat raitioliikenteen lipputulokertymän kilpailukykyiseksi. Vastaavalla tavalla tarkasteltuna esimerkiksi bussiliikenne näyttäytyy raitioliikenteeseen verrattuna suhteellisen kalliina joukko-liikennemuotona. (2012b, 24.)

2.2 Modernin raitioliikenteen tunnusmerkit ja suunnittelukäytännöt

Modernin raitiotiesuunnittelun juuret ovat 1970-luvun Stadtbahneissa, saksalaisissa esimerkeissä, joiden alkuperäinen kohtalo oli olla vain välivaihe liikennejärjestelmässä, joka kaupunkien kasvaessa kehittyisi *täysiveriseksi* metroksi. Ajatuksesta luovuttiin aikoinaan, kun huomattiin, etteivät nopeat mutta harvat tunneliosuudet pystyneet kilpailemaan suosioista autoliikenteen kanssa. Tunnelit jäivät, mutta kalleutensa vuoksi niiden verkostoa ei enää laajennettu. Sen sijaan keskityttiin olemassa olevan järjestelmän maanpäällisten osien kehittämiseen. (Alku 2007, 32.)

Teknologian kehittyessä on mahdollistunut yhä paremmin toimivien järjestelmien rakentaminen ja suunnitteluratkaisujen hyödyntäminen. Uuden teknologian käyttöönottoaminen on helppompaa, mikäli järjestelmä saadaan rakentaa puhtaalta pöydältä. Suomen kaupungeista Tampere on jo hyvin pitkällä oman raitiotiensä suunnittelussa – yleissuunnitelma valmistui kesällä 2014, ja lopullinen päätös rakentamisesta tehdään vuonna 2016. Kaupunki haki esimerkkejä raitiotien onnistuneista toteutuksista maailmalta. Tampereen kaupungin edustajat ovat käyneet tutustumassa nykyaikaisiin raitioteihin muun muassa Nottinghamissa Englannissa ja Reimsissä Ranskassa.

2.2.1 Nottingham

Nottinghamin raitiotie avattiin liikenteelle vuonna 2004. Raitiotie on kerännyt suosiota, ja sen linjaston laajennustyöt ovat käynnissä. Toistaiseksi käytössä on niin sanottu ensimmäinen vaihe, joka koostuu yhdestä keskustan ja Hucknallin rautatieaseman yhdistävästä linjasta (Alku 2014, 8).

Nottinghamin raitiotie rakennettiin ympäristöön, joka ei sallinut suurta maankäytön tehostamista. Se olikin ensisijaisesti liikennehanke, jolla haluttiin elävöittää elinkeinorakennemuutoksesta kärsivää keskustaa ja vähentää autoliikennettä (Alku 2014, 2). Raitiolinjalla on kaksi toisistaan liikennöintiympäristöltään selkeästi erottuvaa osiota: Keskustan katuraitiotieosuus on pituudeltaan 5,1 km ja keskustasta pohjoiseen rautatiekäytävää mukaileva 8,4 kilometrin osuus.

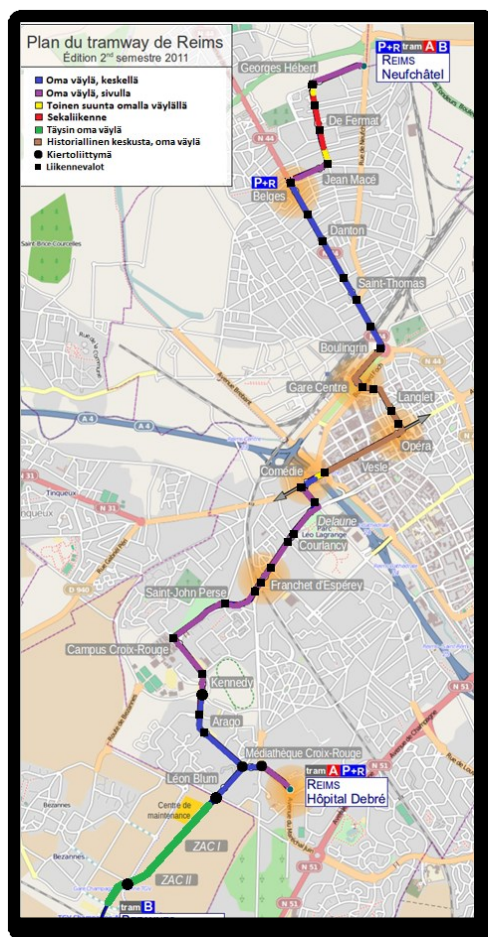
Nottinghamin raitiotiellä on liikenne-etuus, mikä tarkoittaa käytännössä sitä, että vaunut pysähtyvät vain pysäkeillä. Käytännöllä varmistetaan liikennöinnin luotettavuus ja täsmällisyys. Keskusta-alueella keskimääräinen linjanopeus oli 18,1 km/h (Alku 2014, 10). Tämä siitä huolimatta, että raitiotie kulkee keskustassa pääasiassa matkaa sekakaistoilla. Muun liikenteen aiheuttama liikennöinnin epävarmuus on pyritty minimoimaan sijoittamalla rata vähän liikennöidyille kaduille ja katuosuuksille (Alku 2014, 8).

2.2.2 Reims

Reimsin raitiotie aloitti toimintansa vuonna 2011. Kuten Nottinghamissa oli rakentamisen keskeisenä perusteena autoliikenteen vähentäminen ja keskusta-alueen elävöittäminen. Raitiotie rakennettiin korvaamaan kuormitetuimmat bussilinjat (Alku 2014, 17). Keskusta-alueella kulkevan raitiotien linjanopeus olikin 18 km/h (Alku 2014, 17).

Rata on lähes koko matkaltaan omalla kaistallaan – Nottinghamista poiketen myös keskustassa (Kuva 2). Raitioliikenteelle on varattu ehdoton liikenne-etuus. Risteykset on varustettu valo-opastimin, jotka informoivat ennakoivasti kuljettajaa, millä tavoin risteyksessä kannattaa käyttäytyä. Eri symbolit kuvaavat eri asioita: *timanttikuvion* nähdessään kuljettaja ymmärtää etuuden olevan tulossa. *Huutomerk*in syttyessä ajolupa annetaan 3 sekunnin kuluessa, eikä jarruttamiseen ole enää tarvetta. Yllä kuvattu lisäopastin toimii myös silloin, kun välittömästi pysäkin edessä sijaitsee liikennevaloliittymä – vaunu voi seistä pysäkillä niin kauan kunnes näkee huutomerkkin. Näin varmistuu vaunun pääsy liittymästä pysähtymättä valoihin. (Hakala 2014, 57.)

Siellä missä rata on käytännön syistä jouduttu toteuttamaan sekakaistana autoliikenteen kanssa, opastin- ja valoetusjärjestelmän toiminnan kannalta on Hakalan (2014, 62) mukaan keskeistä, ettei vaunu koskaan saavu liittymään muun liikenteen seassa. Näin raitiovaunu pääsee mahdollisimman sujuvasti ja vähän muuta valokiertoa häiritsevästi liittymästä.



Kuva 2. Reimsin raitiotien reitti ja väylätyypit (Hakala 2014, 61).

2.2.3 Tampere

Tampereen kaupungin suunnittelemasta raitiotiestä reitille Hervanta–keskusta–Lentävänniemi valmistui keväällä 2014 yleissuunnitelma. Yleissuunnitelmassa linjataan, että raitiotie kulkee ensisijaisesti omilla kaistoillaan. Ydinkeskustan Hämeenkadulla raitioliikenne käyttää bussien kanssa samaa väylää. Hervannassa raitiotie kulkee muun ajoneuvoliikenteen seassa. Tarkempi selvitys raitiotielinjauksen väylätyypeistä on esitetty kuvassa 4. Liittymät toteutetaan samassa tasossa muun liikenteen kanssa. (Tampereen kaupunki 2014, 26.)

Linja-auto- ja raitioliikenne pyritään pitämään erillään. Sielläkin, missä liikennemuodot käyttävät samaa väylää, on pitkän ajan tähtäimenä pysäkkien erottelu. Kuitenkin esimerkiksi Hämeenkadulla on mahdollista joutua väliaikaisesti soveltamaan yhteisiä pysäkkejä bussien kanssa. Tämä saattaa johtaa tilapäisiin suunnitteluratkaisuihin esimerkiksi pysäkkikorkeuden suhteen. (Tampereen kaupunki 2014, 26.)

Tampereen raitiotien keskimääräinen pysäkkiväli on noin 600 metriä – Hämeenkadulla, kaupungin keskustassa, pysäkkien välinen etäisyys on 250 metriä, keskustan ja esikaupunkien välillä pysäkkiväli nousee parhaimmillaan lähes kilometriin.

Raitiotietä varten on laadittu erillinen suunnitteluohje, joka linjaa muun muassa kaarresäteen suositelluksi arvoksi 25 m ja pituuskaltevuuden maksimiksi 4 % (Tampereen kaupunki 2013). Suositusten tarkoituksena on ohjata raitioliikenteen rakentamista etenkin uusilla alueilla, nykyisen linjauksen varrella on paikoin hankala päästä näin optimaalisiin ratkaisuihin rajoitetun tilan vuoksi (Tampereen kaupunki 2014, 31).



Kuva 3. Tampereen raitiotien valitun linjauksen väylätyypit (Tampereen kaupunki 2014).

Avainasemassa nykyaikaisen raitiojärjestelmän toimivuuden kannalta ovat vaunujen kulun ennustettavuus ja säännöllisyys. Oma, täysin muusta liikenteestä eristetty rata on varmin keino päästä tähän tavoitteeseen. Näin toimittiin Reimsissä, jonka järjestelmästä näkee, että se on suunniteltu ja toteutettu tarkkaan mietittynä kokonaisuutena. Nottinghamissa päädyttiin keskusta-alueilla sijoittamaan raitiorata sekakaistoille, mutta reitti suunniteltiin kaduille, joilla ei ole merkittävästi autoliikennettä. Kummallakin lähestymistavalla päästiin keskustan alueella 18 km/h keskinopeuteen. Tampereella keskinopeus asettuu mallinnuksen perusteella välille 19–22 km/h ja on aivan keskusta-alueellakin³ 15,5 km/h.

³ Laskettu pysäkkivälille Pyynikintori–Sampola Tampereen raitiotien yleissuunnitelman taulukossa 4 esitettyjen ajoaikojen mukaan (Tampereen kaupunki 2014, 32).

3 Havainnot ja aineisto

3.1 Aineiston keruu ja menetelmät

Aineisto kerättiin mittaamalla raitiovaunusta käsin vaunun jättämää GPS-jälkeä⁴. Samalla tehtiin huomioita vaunun liikettä hidastavista tekijöistä sekä kirjattiin ylös sekuntikellolla vaunun pysähtyneenä vietetty aika. Pysähdysten syy vielä merkittiin erikseen: vaihtoehdot olivat *pysäkki*, *liikennevalot* ja *muut syyt*.

Ongelmalliseksi aineiston keruussa osoittautui etenkin pysähdysten määrittely. Selkeyden vuoksi tutkimuksessa pysähtymiseksi määritettiin ainoastaan aika, jolloin vaunu on täysin liikkumatta. Esimerkiksi pysäkiltä punaisia valoja kohti hitaasti lipuva vaunu laskettiin liik-kuvaksi, vaikka liikennevalojen hidastava, vaunun lähes pysähdyksiin ajava vaikutus olikin ilmeinen. Aina myöskään hidastamisen syy ei ollut mitenkään ilmiselvä, joten merkintää tapauksesta ei ole. Kuvatunkaltaisissa tapauksissa hidastus ilmeneekin ainoastaan GPS-jäljestä.

Pysäkin yhteydessä sijaitsevilla liikennevaloissa seisonta-aika erotettiin itse pysäkkiajasta laskemalla ensin keskimääräinen pysäkkiaika koko linjan matkalta ja vähentämällä tämä kyseisen pysäkin kokonaisseisonta-ajasta. Näin saatiin arvioitua kyseisissä tapauksissa itse liikennevalojen aiheuttama pysähdys.

Raitiolinja 1 reitiltä havainnointi- ja GPS-aineistoa kertyi kaiken kaikkiaan kolmelta mittauspäivältä – *maanantailta 3., keskiviikolta 5. ja perjantailta 7.11.2014*. Aineistoa on yhteensä 12:sta lähdöstä: Kuusi lähtöä kumpaankin suuntaan.

GPS- ja havaintoaineistoa on tukemassa HSL:n HELMI-järjestelmän avulla kerätyt yksityiskohtaiset pysäkkien saapumis-, lähtö- sekä mahdolliset ohitusajat kyseisiltä liikennöintipäiviltä⁵. Järjestelmä rekisteröi pysäkille saapumis- ja lähtöajat oven avaamisen ja sulkemisen perusteella. HELMI-aineistosta ei näin ole eroteltavissa seisomisaikaa pysäkin yhteydessä sijaitsevilla liikennevaloissa tilanteissa, joissa kuljettaja päättää pitää ovet auki koko vaunun pysähdysten ajan.

⁴ GPS-jäljen tallentamiseen käytettiin Android-käyttöjärjestelmän Open GPS Tracker –ohjelmaa.

⁵ Aineiston kokoamisesta ja käyttööni antamisesta haluaisin kiittää HSL:n liikennesuunnittelijaa Lauri Rätystä.

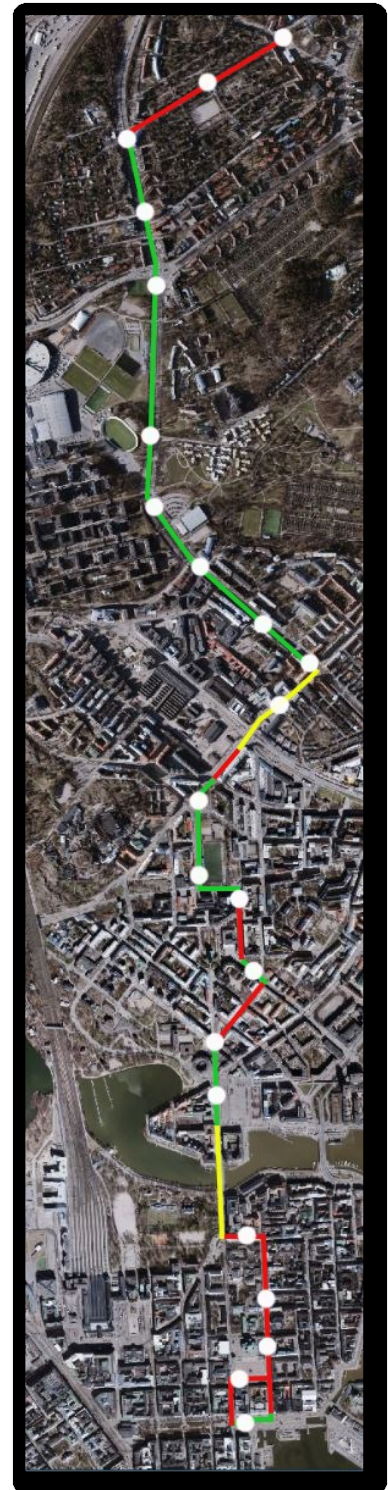
3.2 Lähtökohtia: Raitiolinja 1

Raitiolinja 1 valikoitui tutkimuskohteeksi reitin monipuolisuuden ansiosta – linjan reitti jakautuu luontevasti kolmeen osioon: hitain osuus Kauppatorilta Kruunuhaan kautta Hakaniemeen; mutkainen, mutta muun liikenteen osalta vähemmähäiriöinen osuus Kallion läpi Vallilaan sekä lopuksi nopein osuus Mäkelänskadun täyserotettua rataa pitkin Käpylän Pohjolanaukiolle. Kuvassa 5 on kuvattu reitin linjaus väylätyypeittäin. Osioita erottavia tekijöitä ovat radan eristeisyys, ”kiemuraisuus” ja muun liikenteen määrä.

Linjan 1 eteläinen päätepysäkki sijaitsee Kauppatorilla⁶. Sieltä reitti etenee läpi Kruununhaan kapeiden katukuilujen pitkin Snellmanin- ja Liisankatuja kohti Hakaniemeä. Kruununhaan osuudella on kolme toisiaan liikennöintiympäristöltään muistutavaa pysäkkiväliä: pysäkkien väliset etäisyydet ovat lyhyet ja vaunun nopeus hiljainen. Rata kulkee muun liikenteen seassa, mutta liikennettä on alueen luonteen vuoksi vähänlaisesti. Liikennevaloja on Kruununhaassa vain kahdet: Kauppatorilla sekä Snellmaninkadun–Liisankadun risteyksessä.

Matka Liisankadun päästä Hakaniemeen eroaa huomattavasti osuuden alkupäästä. Pysäkkiväli on Helsingin raitioiteille pitkä – likimain 700 metriä. Liikennevaloja osuudelle mahtuu peräti neljät. Pysäkkiväli osoittautuikin mittauksissa hyvin hitaaksi. Hakaniemestä seuraava pysäkki sijaitsee Kallion virastotalolla.

Kalliosta Vallilaan linjan reitti kulkee pääasiassa vuoroin muun liikenteen seassa ja vuoroin omalla kaistallaan. Brahenkadun ja Roineentien pysäkkien välillä linjan reitti kulkee pitkin Sturenkatua. Aleksis Kiven kadusta pohjoiseen rata on sekakaistoilla. Etenkin ruuhka-aikaan tämä osoittautui erittäin hitaaksi ja epäluotettavaksi osuudeksi. Sturenkadun ja Mäkelänskadun kulmassa on liikennevalot, joissa raitiovaunu joutuu odottamaan sekakaistalla. Vaunu seisoikin valoissa pahimmillaan kahden valo-kierron ajan.

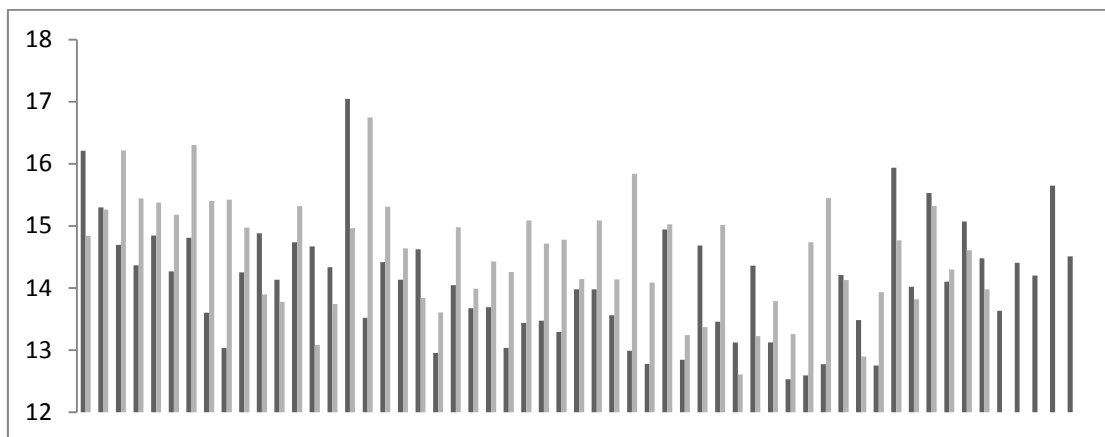


Kuva 4. Raitiolinja 1:n pysäkit ja reitti väylätyypeittäin. Sekakaistat punaisella, toiseen suuntaan sekakaistat keltaisella ja oma väylä vihreällä.

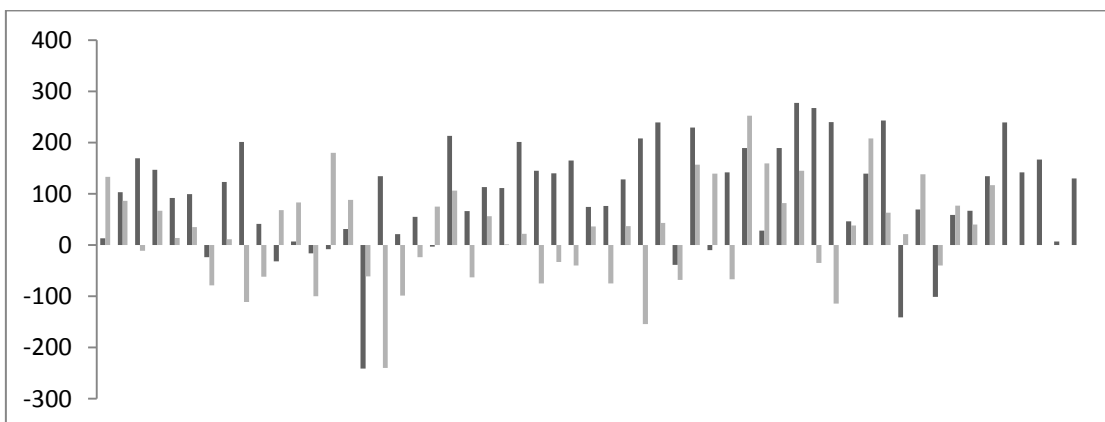
⁶ Ruuhka-aikoina linjaa ajetaan tunnuksella 1A, jolloin eteläinen päätepysäkki sijaitsee Puna-vuoressa. Tässä tutkimuksessa analysoitiin kuitenkin pelkästään linjan reittiä Kauppatorilta pohjoiseen – näin myös linjan 1A vuoroilla.

Mäkelänskadulla rata sijaitsee omalla väylällään puukujan keskellä. Pitkällä osuudella on eniten nykyaikaisen nopeamman liikennöinnin tunnusmerkkejä, ja se olikin koko linjan reitin nopein osuus. Viimeinen kilometri Pohjolankadulla kuljetaan sekakaistoilla, joilla kuitenkin alueen luonteen takia ei juuri ole häiritsevää liikennettä.

Yhteensä pysäkkivälejä on pohjoiseen matkatessa 20. Reitillä etelään on yksi pysäkki enemmän (Senaatintori), joka nostaa pysäkkivälien määrän 21:een. Linjan aikataulunopeus on 14,9 km/h (HSL 2014, 14). Kuvassa 5 on esitetty 5.11.2014 HELMI-järjestelmän avulla kerätyt koko päivän ajalta toteutuneet linjasivukohtaiset linjanopeudet. Lähdöt on esitetty kronologisesti päivän ensimmäisistä viimeisiin. Linjanopeudet vaihtelevat paljon päivän mittaan – eivät vain vuorokauden ajankohdan mukaan vaan lähdöstä toiseen. Linjanopeuksien hajonta antaa kuvan linjan liikennöintiympäristöstä ja siitä, miten häiriöherkkää liikennöinti on. Kuvassa 6 on vielä esitetty vastaavien lähtöjen kokonaismatka-aikojen erotus aikataulukirjan ilmoittamasta. Koko päivän linjanopeuksien keskiarvoksi asettui 14,03 km/h pohjoiseen ja 14,49 km/h etelään.



Kuva 5. Raitiolinja 1:n 5.11.2014 lähtöjen toteutuneet linjanopeudet (km/h). Linjasivu pohjoiseen **tummalla** (57 lähtöä) ja etelään haalealla (52 lähtöä). Aineisto: HELMI.



Kuva 6. Raitiolinja 1:n 5.11.2014 lähtöjen poikkeamat (sekuntia) aikataulun mukaisista saapumisajoista (y-akselin arvo 0). Positiivinen arvo tarkoittaa vaunun myöhästyneen ja negatiivinen vaunun olleen etuajassa. Linjasivu pohjoiseen **tummalla** (57 lähtöä) ja etelään haalealla (52 lähtöä). Aineisto: HELMI.

3.3 Havainnot

3.3.1 Pysähdykset: äärimmäistä hitautta

Paikallaan seisova raitiovaunu ei etene – siis täytä tarkoitustaan, matkustajien kuljettamista. Ideaalisesti toimivassa järjestelmässä raitiovaunu pysähtyykin ainoastaan pysäkeillä. Tästä lähtökohdasta jokainen pysäkkialueen ulkopuolella tapahtuva pysähdys on turha. Hakalan mukaan (2014, 17) Helsingissä raitioliikenteen pysähdyskerroin vaihtelee välillä 1,5–2. Keskimääräinen pysähdysten määrä raitioliikenteessä on siis pahimmillaan kaksinkertainen pysäkkien määrään verrattuna.

Havaintoaineistossani pysähdysten lukumäärä vaihteli välillä 23–32 (pohjoiseen) ja 21–29 (etelään). Pysähdyskertomiksi muodostui näin 1,35 ja 1,17 – keskiarvoksi siis noin 1,26. Näissä luvuissa ei ole eroteltu pysäkkien yhteydessä olevissa liikennevaloissa seisomista, vaan pysäkillä ja sen jälkeisissä liikennevaloissa vietetty aika on laskettu yhdeksi pysähdyksi. Kun edellä mainitut luvut erotellaan, saadaan uusiksi pysähdyskertomiksi: 1,51 pohjoiseen ja 1,23 etelään.

Pysähdyskerroin antaa vain osittaisen käsityksen liikennöinnin hitaudesta. Raitiolinja 1 ei ole pysähdysten määrältään Helsingin ongelmallisimpia. Pysähdyskerrointa tukemaan tarvitaan tietoa pysähdysten kestosta. Lisäksi on ymmärrettävä *pysähtymisen* olevan ainoastaan hitauden ääripiste – tehokas liikennöinti edellyttäisi myös hidasteiden karsimisen minimiin.



Kuva 7. Raitiolinjan 1 eteläinen päätepysäkki Kauppatorilla. Pysäkillä kesän 2011 ratatöiden takia ajatun väliaikaisen linjan 5 vaunu. (Kuva: Sakari Metsälampi 2011)

3.3.2 Miksi pysähdytään?

Taulukoihin 1 & 2 on eritelty pysähdykseen kuluneita kokonaisaikoja havainnointiaineiston pohjalta. Sarakkeessa *Muu syy* on esitetty muun liikenteen aiheuttamista häiriöistä johtuvien pysähdysten kestot eri mittauskerroilla. Muu liikenne tarkoittaa kaikkea jakelusta yksityisautoluun sekä myös muuta joukkoliikennettä. Kokonaismatka-ajoista muusta liikenteestä johtuvien pysähdysten kestot eivät vie keskimäärin paljoa, mutta luvuissa näkyvätkin ainoastaan täysin pysähdyksiin pakottaneiden häiriöiden kestot.

Mittaus	Kokonaismatka-aika	Pysähdysten syy					
		Pysäkki	(s)	Liikennevalot	(s)	Muu syy	(s)
1.	33m11s	13,35 %	266	20,32 %	405	8,31 %	265
3.	33m54s	10,90 %	221	22,24 %	452	2,60 %	53
5.	29m7s	11,32 %	198	24,51 %	428	2,23 %	39
7.	32m13s	16,39 %	317	16,57 %	320	0,59 %	11
9.	29m38s	16,29 %	290	15,06 %	268	0,89 %	16
11.	29m18s	12,58 %	221	16,77 %	295	0,48 %	8
Keskimäärin		13,47%	252	19 %	361	3 %	65

Taulukko 1. Pysähdysten kokonaiskestot mittausmatkalla. Suunta pohjoiseen Kauppatorilta Pohjolanaukiolle. Prosenttiluku kertoo pysähdystyyppin osuuden kokonaismatka-ajasta.

Mittaus	Kokonaismatka-aika	Pysähdysten syy					
		Pysäkki	(s)	Liikennevalot	(s)	Muu syy	(s)
2.	29m22s	15,10 %	266	15,13 %	267	3,83 %	67
4.	27m26s	14,62 %	241	5,09 %	84	0,92 %	15
6.	29m22s	14,85 %	262	12,24 %	216	0,74 %	13
8.	29m59s	14,24 %	256	13,41 %	241	0,00 %	0
10.	32m18s	16,94 %	328	13,26 %	257	1,40 %	27
12.	28m46s	12,13 %	209	12,93 %	223	0,23 %	4
Keskimäärin		14,65 %	260	12 %	215	1 %	21

Taulukko 2. Pysähdysten kokonaiskestot mittausmatkalla. Suunta etelään Pohjolanaukiolta Kauppatorille. Prosenttiluku kertoo pysähdystyyppin osuuden kokonaismatka-ajasta.

Suurimmaksi toisten tien- ja kiskojenkäyttäjien liikenteen aiheuttamien ylimääräisten pysähdysten aiheuttajaksi ilmeni toisen samoja kiskoja käyttävän ja edessä ajavan linjan raitiovaunu, joka tukki pysäkillä pääsyn (6 kertaa, yhteensä 131 sekuntia). Huonoimmassa tapauksessa, esimerkiksi kerran Hattulantien pysäkillä, Linjan 7 vaunu tukki ensin pysäkin, jonka takia vaunu, jossa istuin myöhästyi liikennevaloista ja joutui sen vuoksi odottamaan yhden ylimääräisen valokierron. Ylimääräistä pysähdysaikaa kertyi tuolloin yli 90 sekuntia. Myös linjan 23 vastaantuleva bussi tukki Brahenkadun pysäkin kertaalleen (pysähdys 20 sekuntia). Myös risteävä raitioliikenne toimi hidasteena.

Pisin yksittäinen pysähdys aiheutui Kruununhaassa Snellmaninkadulla, kun roska-auto tukki ajoväylän. Pysähdys kesti tuolloin 100 sekuntia. Kumipyöräliikenteen aiheuttamat viivytykset ilmenivät muuten lähinnä hidastuksina. Kapeissa katukuiluissa autot on välillä parkkeerattu

niin lähelle raitiorataa, että vaikka kontaktia ei ohitustilanteessa sattuisikaan, on vauhdin hiljentäminen ainoa vaihtoehto.

Havainnointiaineistossani liikennevaloissa seisominen aiheutti merkittävän osan linjan kokonaismatka-ajoista. Taulukoissa 1 ja 2 esitetään linjasivuittain vaunun liikennevaloissa viettämät ajat. Aineistosta huomaa liikennevaloissa seisomisen muodostavan huomattavan osan linjasivuttaisista matka-ajoista – pohjoiseen matkatessa keskimäärin vajaan viidesosan ja eteläänkin 12 %.

3.3.3 Mikä hidastaa?

Taulukossa 3 on esitetty HELMI-järjestelmällä kerätyt pysäkkivälikohtaiset keskinopeudet kahdelta liikennöintipäivältä (5. ja 7.11.2014), yhteensä 110:lta lähdöltä Kauppatorilta pohjoiseen ja 102:lta lähdöltä Pohjolanaukiolta etelään. Vastaavat pysäkkivälit on asetettu vierekkäin. Keskinopeudet on laskettu vaunun ovien sulkemisen ja jälleen avaamisen perusteella. Näin vaunun pysäkillä viettämällä ajalla ei ole vaikutusta lukuihin.

PÄÄTE		ETELÄÄN	→	LÄHTÖ
17.5	Metsolantie	– Pohjolanaukio		17.7
24.2	Käpylänaukio	– Metsolantie		15.7
21.2	Kimmontie	– Käpylänaukio		25.3
20.6	Koskelantie	– Kimmontie		20.1
32.5	Pyöräilystadion	– Koskelantie		35.7
24.5	Uintikeskus	– Pyöräilystadion		17.7
21.6	Mäkelänrinne	– Uintikeskus		22.8
24.9	Rautalammintie	– Mäkelänrinne		23.7
21.2	Hattulantie	– Rautalammintie		18.6
7.1	Roineentie	– Hattulantie		17.4
16.5	Brahenkatu	– Roineentie		18.9
21.6	Urheilutalo	– Brahenkatu		22.0
12.5	Kaarlenkatu	– Urheilutalo		13.1
18.3	Karhupuisto	– Kaarlenkatu		18.7
18.0	Kallion virastot.	– Karhupuisto		14.8
10.3	Hakaniemi	– Kallion virastotalo		13.0
12.4	Snellmaninkatu	– Hakaniemi		12.0
16.5	Kansallisarkisto	– Snellmaninkatu		18.2
19.2	Hallituskatu	– Kansallisarkisto		19.0
		Hallituskatu		14.8
13,0	Kauppatori	– Senaatintori		12.0
LÄHTÖ	←	POHJOISEEN		PÄÄTE

Taulukko 3. Raitiolinjan 1 keskiviikon 5.11.2014 ja perjantain 7.11.2014 pysäkkivälikohtaiset keskinopeudet.

Linjan eteläinen puolisko Kruununhaasta Urheilutalolle erottuu selvästi hitaampana ja osuus Sturenkadun ja Mäkelänskadun risteyksestä pohjoiseen selvästi nopeampana. Vertaamalla tau-lukon 3 tietoja kuvassa 4 esitettyihin väylätyyppeihin saadaan käsitys siitä liikennöintiympä-ristön vaikutuksesta nopeuteen. Etelässä vaunu kulkee pääasiassa sekakaistoilla, kun taas poh-joisessa voittopuolisesti omalla kaistalla – Mäkelänskadulla liittymiä lukuun ottamatta täysin muusta liikenteestä erotetulla radalla.



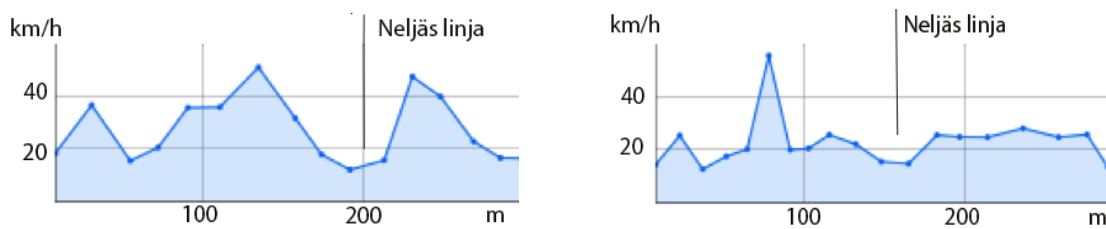
Kuva 8. Muusta liikenteestä eroteltua raitiorataa Mäkelänskadulla. (Kuva: Sakari Metsälampi 2009)

1 Liittymät

Liittymät ovat potentiaalisia konfliktipisteitä. Vaikka raitiovaunulla on muutamia erikoistapa-uksia lukuun ottamatta etuajo-oikeus suhteessa muihin tienkäyttäjiin, joutuu kuljettaja liitty-mäalueelle saavuttaessa hidastamaan jo turvallisuuden nimissä. Näitä erikoistapauksia ovat esimerkiksi kolmioristeykset, joita raitiolinjastolla on harvassa ja silloinkin risteykset ovat yleensä valo-ohjattuja, ja tilanteet, joissa raitiovaunu kääntyy suoraan ajavan liikenteen läpi oikealle tai vastaan tulevan liikenteen läpi vasemmalle. Myös hallipihalta tiealueelle saapuva vaunu väistää tien liikennettä.

Esimerkiksi Kruununhaassa ja Kallion Porthaninkadulla liittymiä on tiheään. Vaikka muuta liikennettä on alueella suhteellisen vähän, jää nopeus pysäkkien välillä alhaiseksi. Liittymät ilmenevät vaunun nopeuskäyrissä notkahduksina. Kuvissa 9 ja 10 on esitetty vaunun nopeudet

pohjoisen suuntaan Porthaninkadulla kahdelta eri lähdöltä. Kuvista huomaa Neljännen linjan vaikutuksen nopeuteen.



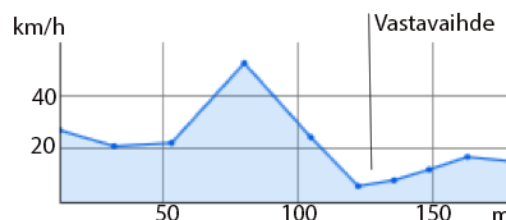
Kuvat 9 ja 10. Raitiovaunun nopeuskäyrät Porthaninkadulla. Käyristä huomaa selvästi vaunun Neljättä linjaa lähestyessä tekemän hidastuksen. Eriävät etäisyydet (x-akseli) selittyvät epätarkkuuksilla sijaintitietojen keruussa. Lisäksi on huomattava kuljettajien toisistaan huomattavasti eroavat ajotyylit. Kuvassa 9 kuljettaja on pyrkinyt maksimoimaan vaunun nopeuden. Kuvassa 10 sen sijaan vaunu on liikkunut maltillisemmin – nopeuspiikki on mittaushäiriö.

Risteävät kadut vaikuttavat siis hidastavasti liikennöintiin. Niiden vaikutus on epäsuoraa – turvallisen kulun varmistamiseksi on raitiovaunun hidastettava vauhtiaan liittymään saapuesaan – jopa vain todetakseen, ettei mitään fyysistä tarvetta hidastaa olekaan.

II Ristikot ja vaihteet

Kattavan raitioverkon yhtenä ongelmana on, että vaihteita ja ristikoita on linjastolla tiheään. Helsingin rataverkolla nopeusrajoitus vaihteissa ja ristikoissa on kautta linjaston 10 km/h. Hiljentäminen ja jälleen kiihdyttäminen tekee liikennöinnistä aaltoilevaa – vaihteeseen tai ristikkoon ajaminen ajoi havainnoideni mukaan vaunun paikoin melkein pysähdyksiin.

Kuvassa 11 on esitetty raitiovaunun kulkeminen vastavaihteeseen. Läntisellä Brahenkadulla Kalliolanrinteen liittymästä Brahenkadun pysäkillä. Porvoonkadun kohdalla olevan vastavaihteen kohdalla vaunun nopeus tippuu alle 10 km/h:iin.



Kuva 11. Raitiovaunun nopeuskäyrä vaunun kulkemisesta vastavaihteeseen.

4 Johtopäätöksiä

4.1 Liikennöintiympäristö

Suurin liikennöintiä ja liikennöinnin kehittämistä haittaava tekijä on liikenteen satunnaisuus, joka aiheuttaa suurta hajontaa toteutuneissa linjanopeuksissa (ks. kuvat 6 ja 7). Hajonta kertoo rataympäristön haavoittuvuudesta. Haavoittuvuudella tarkoitan niitä liikennöintiin liittyviä tekijöitä, joilla on hidastava ja siten satunnaistava vaikutus. Helsingissä vanhanaikaisista suunnitteluratkaisuista johtuen raitioliikenne on sijoittunut kapeille kaduille, joilla sekaliikennöityjen kaistojen takia muiden tien käyttäjien aiheuttamilta häiriöiltä ei voi välttyä.

HSL on raitioliikenteen kokonaiskehittämisselvityksessään (2009) ottanut raitioliikenteen nopeutuksen lähtökohdaksi linjakohtaiset ongelmapaikkojen kartoitukset. Kartoituksia on toistaiseksi valmistunut linjalle 8 sekä yhteisselvitys linjoille 2, 3 ja 7. Ongelmapaikat parannusehdotuksineen on käsitelty toimenpidekorttien kautta. Ongelmapaikkojen kartoittaminen on avain tilanteen parantamiseen. Ratatekniset ratkaisut, kuten tiukat kaarresäteet ja matalauraiset vaihteet hidastavat kyllä osaltaan vaunun etenemistä mutta vasta sitten, kun liikenteen satunnaisuutta aiheuttavat muuttujat saadaan minimoitua, saadaan linjaston ratateknisestä optimoinnista suurin hyöty irti.

Jo liittymät, toisin sanoen pelkkä muun liikenteen potentiaali, hidastavat vaunun kulkua. Lähtökohta nykyaikaiselle raitiotiesuunnittelulle onkin oma väylä (ks. mm. Banverket 2009, 15). Osuuksilla, joilla oman väylän toteutus ei syystä tai toisesta ole mahdollista, on rata syytä ohjata vähemmän liikennöidyillä kaduille kuten Nottinghamissa. Helsingissä liittymiä on veraten tiheään ja tutkimuskohteena olleen raitiolinja 1:n reitin hitaimmat kohdat osuivatkin juuri näille osuuksille. Näillä kaduilla raitioliikenteen toimintaedellytyksiä voidaan parantaa esimerkiksi rajoittamalla läpiajoa (Banverket 2009, 35) tai pysäköintiä.



Kuva 12. Sveitsin Berniin 2009–2010 rakennettu raitiotie on harvinainen poikkeus uusien ratojen joukossa – rata kulkee valtaosin sekakaistoilla. (Kuva: Banverket 2009, 34)

4.2 Linjasto- ja aikataulusuunnittelu

Helsingin raitiolinjasto toimii tiheänä pienehköllä maantieteellisellä alueella. Tämä on yhtälö, jonka seurauksena samaa rataosuutta hyödyntävät tai rataosuuden kanssa risteävät linjat kohtaavat väkisinkin linjastolla. Pahimmassa tapauksessa pakkautuminen johtaa esimerkiksi liian lyhyiden pysäkkien takia ylimääräiseen pysähdykseen vaunun odottaessa pääsyä pysäkille. Muun raitiovaunuliikenteen haitat korostuvatkin järjestelmässä, jossa palvelutasoa tuotetaan laadun sijaan määrällä.

Radan erottaminen omalle kaistalleenkaan ei siis vielä takaa häiriötöntä ajoa. HSL:n uudessa linjastosuunnitelmassa (2014) on lähdetty pyrkimyksestä vähentää niin sanottujen kiertävien linjojen kääntyminen pääväylille. Esimerkiksi Topeliuksenkadulle suunniteltu rata ohjaisi kääntyvät linjat 2 ja 7 pois Mannerheimintieltä. Ratkaisulla lyhennettäisiin valokiertoa ja vältettäisiin tilanteita, joissa vaunut *hidastavat toisiaan*. Omassa aineistossanikin Mäkelänskadun muusta liikenteestä erotetulla radalla vaunun eteneminen estyi useamman kerran liikennevaloihin linjan 7 vaunun kääntyessä radalle oikealta Itä-Pasilasta. Liikenne on joillain linjaston osuuksilla liian tiheää ollakseen häiriötöntä.

Tähän ratkaisuna on liikennöinnin säännöllisyys – se mahdollistaisi aikataulusuunnittelun, jolla vaunujen samanaikainen osuminen kriittisiin liittymiin pystyttäisiin minimoimaan. Maltillisempaa ratkaisuna voitaisiin pysäkkejä pidentää linjaston avainkohdissa.

4.3 Nopeuden optimointi

Vaikka häiriötekijöihin puuttuminen on nykyaikaisen liikennöinnin perusta, voidaan sitä ratateknisillä ratkaisuilla tehostaa entisestään. HSL:n selvityksen (2011, 23) mukaan pelkästään jo siirtymällä koko raitioverkostolla syväuraisiin ristikoihin saataisiin vaunujen kierrosajat nopeutumaan keskimäärin kolmella – parhaassa tapauksessa jopa seitsemällä minuutilla. Tämä on arvioitu olettamalla vaunun pituudeksi 24,5 metriä ja vaihteen matalan uran pituudeksi 4,5 m. Nopeudella 10 km/h vaunulla kuluu vaihteen ylitykseen 10,5 sekuntia, nopeudella 20 km/h 5,2 sekuntia ja nopeudella 30 km/h 3,5 sekuntia. (HSL 2011, 23.)

Muutos nopeuttaisi vaunujen risteysaikaa huomattavasti. Siten se myös vähentäisi raitiovaunujen etuuden valokierrosta muulle liikenteelle aiheutuvaa ”häiriötä” ja tekisi valoetuuksien toteuttamisesta poliittisesti vähemmän kiistanalaista. Muutos edellyttäisi myös nykyistä leveämpien pyörien käyttöönottoa ja siten pakottaisi jyrsimään kadun pintaa kiskon ulkoreunalta 28 kilometrin matkalta (HSL 2009, 37).

Toinen liikennöintiä nykyisin hidastava rataperäinen tekijä on pienikaarresäteisten kohteiden suuri määrä linjastolla. Nykyaikainen raitiotiesuunnittelu asettaa suositusarvoksi kaarresäteiden minimille 25 metriä (esim. Banverket 2009, 84). HSL (2009, 35) esittääkin kaarteiden uusimista paikoissa, joissa rakennettu ympäristö sen sallii.

4.4 Pysäkit

Helsingin raitioliikenteen pysäkkiväli on alhainen – vain noin 350 metriä, kun taas moderneilla keskustan kautta kulkevilla raitioteilla keskimääräiseksi pysäkkiväliksi muodostuu 450–500 metriä. Pysäkkien poisto, karsimalla tai yhdistämällä, vähentää pysähdyksiä linjan varrella ja nopeuttaa liikennöintiä pysäkkiaikojen lyhentymisen kautta.

Pysäkkijärjestelyjen muuttaminen on kuitenkin syytä punnita tarkkaan – se heikentää raitioliikenteen saavutettavuutta ja yleensä pienentää myös palvelualueita. Joissain tapauksissa käytäntö voi kuitenkin olla perusteltua. Esimerkiksi tutkimani linjan 1 varrella Rautalammentien pysäkki sijaitsee hyvin lähellä Sturenkadun ja Mäkelänselänkadun risteyksessä sijaitsevaa Hattulantien pysäkkiä.

Myös tapauksissa, joissa pysäkki on hyvin vähällä käytöllä ja ohitetaan usein pysähtymättä – kuten *Pyöräilystadion*, *laituri 21* aineistossani, voidaan uusia pysäkkijärjestelyjä harkita. Mainitsemani Pyöräilystadionin pysäkin poistamista vastaan puhuu kuitenkin sen palvelualue, jota ympäröivät pysäkit eivät pysty pitkien etäisyyksien takia kunnolla kattamaan.

4.5 Liikennevalot

Raitiolinjan 1 matka-ajasta kului suuri osa liikennevaloissa: matkalla Kauppatorilta Käpylään jopa enemmän kuin itse pysäkeillä. Toiseenkin suuntaan liikennevaloissa seistiin lähes yhteenlaskettujen pysäkkiaikojen verran. Tämä on kuitenkin yhtä paljon seurausta hitaudesta kuin varsinainen syy hitauteen.

Havaintojeni perusteella raitiolinja 1:n reitillä liikennevalojen suhteen ongelmallisimpia kohtia olivat pääväylän ja pienemmän väylän liittymäkohdat. Ongelma oli pienempi, mikäli vaunu lähestyy suurta liittymää liikenteen pääsuunnan mukaisesti. Tällöin se pääsi luonnollisesti osaksi muun liikenteen *aaltoja*. Sen sijaan tilanteissa, joissa vaunu kääntyi sivuväylältä pääväylälle se päätyi usein ensimmäisiin valoihin odottamaan muuta pääsuunnan liikennettä. Juuri näissä paikoissa taulukossa 3 esitetyt erot liikennöintisuuntaakohtaisissa keskinopeuksissa korostuvat.

Kuvatuslaisia kohtia on esimerkiksi Brahenkadun ja Roineentien pysäkkien välinen osuus. Brahenkadun pysäkiltä lähtiessään vaunu kääntyy oikealle Sturenkadulle ja jäi kerta toisensa jälkeen ensimmäisiin liikennevaloihin odottamaan, että kadun liikennevalokierto saatiin jälleen Sturenkatua pitkin etenevälle liikenteelle suotuisaksi. Toisesta suunnasta lähestyessä ei vastaavaa ongelmaa ilmennyt, sillä Roineentien pysäkiltä matka jatkuu pääliikennesuuntaan. Toinen vastaavankaltainen kohta sijaitsee Snellmaninkadun ja Hakaniemen pysäkkien välillä Unioninkadulla. Liisankadun suunnasta vaunu kääntyy Unioninkadulle kohti Pitkääsiltaa ja Hakaniemeä ja jää usein yllä kuvaillusta syystä ensimmäisiin liikennevaloihin. Toisesta suunnasta tuleva vaunu jää samaan kohtaan odottamaan päästäkseen kääntymään vasemmalle Liisankadulle.

Yllä kuvatun kaltaisissa paikoissa pysäkinsiirto pääväylälle poistaisi hukka-aikaa yhdistämällä vaunun pysäkillä seisomisen ja vasemmalle kääntymisen. Se olisi kuitenkin esimerkiksi Liisankadulla sijaitsevaa pysäkkiä ajatellen muilta osin huononnut – sijainti suuren risteysalueen keskellä vaikeuttaisi pysäkin saavutettavuutta eikä kasvaneen etäisyyden vuoksi palvelisi yhtä hyvin alkuperäisen pysäkin käyttäjiä.

Ylimääräisiä liikennevalojen aiheuttamia pysähdyksiä voisi karsia ottamalla VAROVA-valoja⁷ laajemmin käyttöön kautta linjaston muusta liikenteestä erotetuilla pysäkkialueilla. VAROVA-valojen toimintaperiaate on, että ne ovat normaalisti pimeänä ja sallivat pysäkkien välisen liikkumisen. Raitiovaunun lähestyessä valoihin syttyy punainen valo ja merkkiäänä varoittaa lähestyvistä vaunusta. VAROVA-valot ovat myös jalankulkijoiden etu. Tällä hetkellä VAROVA:t ovat vielä kokeiluasteella Helsingissä ja niitä on toiminnassa vain kolmet. (Liikennevalot.infon www-sivut.)

Koska tehokkaat ja nykyaikaiset liikennevaloetudet voidaan järjestää vain muuten hyvin toimivaan raitiojärjestelmään, voidaan niitä pitää liikennöinnin kruununa. Uusissa nykyaikaisissa raitioteissä liikennevalojärjestelyt ovat keskeinen osa koko radan suunnittelua ihan alusta alkaen. Etuuksien toiminta pyritään takaamaan muokkaamalla raitiovaunun väylä sellaiseksi, joka minimoi häiriöt.

Helsingin kaltaisella verkostolla tiheä liittymäväli asettaa valoetuuden vaatimukseksi useiden liikennevalojen toiminnan synkronoimisen, jotta raitiovaunulle voitaisiin järjestää ”vihreä aalto”. Helsingissä ei tähän ei ole syystä tai toisesta pystytty (Hakala 2014, 104). Aineistoni perusteella uskaltaisin väittää, että liikennöintiympäristöstä johtuva satunnaisuus on suurimpana käytännön esteenä. Helsingissä siirtymistä nykyaikaisiin liikennevaloetuuksi voidaan harkita vasta, kun satunnaiset häiriöt on saatu karsittua.

4.6 Lopuksi

Nykyaikaisten raitioliikenteen suunnitteluratkaisujen soveltaminen on Helsingin kaltaisilla rataverkoilla mahdollista, mutta vaatii poliittisia päätöksiä tai määrätietoista kehittämistä. Toinen lähestymistapa on nopeuttamispyrkimys pienin askelin. Tällöin tärkeintä on poistaa ensin liikennöintiä sekoittavat ulkoiset häiriöt. Häiriöiden karsimiseksi tulee ensisijaisesti varata kiskoille oma väylä. Mikäli oma väylä ei ole mahdollinen, tulee pyrkiä estämään radan yli kulkeva liikenne liittymien karsimiseksi. Samalla on varmistettava väylän riittävä leveys koko linjan varrelta.

Pysäkkialueilla VAROVA-valojen tai VAROVA-tyylisten valojen käyttöönottoa tulee edistää ylimääräisten pysähdyksien karsimiseksi. Liikennettä voi samaan aikaan ratateknisellä opti-

⁷ VAROVA = Valo-ohjaus raitiovaunukiskot ylittävällä suoja⁷tiellä.

moinnilla nopeuttaa. Optimointi yhdistettynä liikenneympäristön synnyttämään täsmällisyyteen luovat pohjan liikennevaloetuksien käyttöönotolle.

Toinen, radikaalimpi lähestymistapa, on määrittää raitioliikenteelle pääväylät, joista muodostetaan liikenteellisiä *laatukäytäviä*. Lähestymistapa synnyttäisi kaksiportaisen raitiojärjestelmän, joka koostuisi sekä uusiksi rakennettavista että vanhan järjestelmän kaltaisista radiosta. Laatukäytävien suunnittelu voidaan aloittaa puhtaalta pöydältä ja tilannetta voisikin verrata uusien raitiojärjestelmien rakentamiseen. Uusimpien ja parhaiden käytäntöjen hyödyntäminen, kuten esimerkiksi Reimsin mittatilaustyönä toteutettu liikenne-etuusjärjestelmä, mahdollistuisi.

Laatukäytävien rinnalla raitioliikenne säilytetään myös rataverkon modernisoinnin kannalta ongelmallisemmilla osilla. Raitioliikenteen kattavuus siis säilyisi. Näillä rataverkon osioilla tulisi huomio keskittää ulkoisiin häiriötekijöihin ja niiden karsimiseen edellä esitettyjen periaatteiden mukaisesti.



Kuva 13. Raitiolinja 1 – tässä tunnuksella 1A – Pohjolankadulla lähestymässä Metsolantien pysäkkiä Käpylänaukion suunnasta. Pohjolankadulla liikenne on vähäistä, joten raitioradan sijoittuminen seka-kaistoille ei ole ongelmallista. (Kuva: Sakari Metsälampi 2010)

5 Yhteenveto

Nykyaikaisen raitioliikenteen perusta on sen ennakoitavuudessa. Ennakoitavuus on sekä edellytys että lopputulos. Järjestelmät, joihin liittyy useita epäsäännöllisyyttä aiheuttavia kohtia, eivät voi saavuttaa nykyaikaista tehokkuutta.

Helsingissä raitioliikenteen ongelmana ei ole pelkästään ongelmakohtien suuri lukumäärä. Useat liikennöintiä hidastavat ja sekoittavat tekijät ovat jakautuneet pitkin linjastoa. Osa tästä selittyy liikennöintiympäristöllä – vaunut kulkevat alueella, jolla liikkujia, sekä moottorillisia että lihasvoimaisia, on eniten. Vanha rataverkko kiemurtelee korttelikaupungissa muun liikenteen armoilla. Uusien innovaatioiden soveltaminen on hankalaa osuuksilla, joissa muun liikenteen aiheuttamat häiriötekijät sotkevat vaunujen etenemistä.

Järjestelmän nopeuttamista puoltavat perustelut eivät määrällisesti vastaa lukuisia liikennöintiä haittaavia ongelmia, mutta ovat sitäkin painokkaammat. Nopeuttaminen vähentäisi kustannuksia ja pienentyneiden matka-aikojen avulla mahdollistaisi palvelualueen laajentamisen. Jo nyt itsessään kannattavan raitioliikenteen nopeutuminen nostaisi palvelutasoa, mikä todennäköisesti heijastuisi positiivisesti myös matkustajamääriin nostaen lippukertymää entisestään.

Helsingin raitiotien haasteet siis pohjautuvat vanhoihin suunnittelukäytäntöihin. Järjestelmä näyttäisi kovin erilaiselta, jos raitiotie rakennettaisiin nyt.

Nyky aikaistaakseen raitioverkostonsa Helsinki on tarttunut nopeutustoimiin pala kerrallaan kartoittamalla linjakohtaisesti linjaston ongelmapaikkoja. Ongelmien kartoitus on ensiaskel parannuksen tiellä. Myös tämän työn tarkoitus oli havainnollistaa liikennöintiä eri keinoin hidastavia tekijöitä ja yrittää kuvata niiden määrä, rooli ja painoarvo kokonaisuudessa.

Tampereelle mahdollisesti toteuttava raitiotie tehdään aivan toisenlaiselta pohjalta. Mallia on haettu nykyaikaisten raitiojärjestelmien huipulta. Sekä Reims Ranskassa että Nottingham Englannissa edustavat tätä. Reimsissä koko keskustan liikennejärjestelmä suunniteltiin uusiksi raitioliikenteen ehdoilla. Valtaosin muusta liikenteestä erotettu väylä ja vähäiset liittymät mahdollistavat raitiovaunun häiriöttömän kulun. Nottinghamissa raitiotie toteutettiin osaksi liikennejärjestelmää ohjaamalla sen reitti vähemmän liikennöidyille osuuksille. Sielläkin vau-
nalla on liikenne-etuus.

Sekä Tampereen suunnitellun että Reimsin ja Nottinghamin jo liikennöivän raitiolinjaston erona Helsinkiin on laajuus. Helsingin kattavalla verkostolla eri linjojen vaunut törmäävät toisiinsa sekä samoilla että risteävillä kiskoilla. Helsingin raitiovaunut ovat verrattain pieniä – 21–27 metriä. Pieni kapasiteetti yhdistettynä suureen kysyntään kohdistaa vaatimuksia palvelutasoon, joihin kaupunki joutuu vastaamaan laadun sijaan määrällä – tiheällä vuorovälillä. Ympäristöstä johtuvat hidastavat tekijät ja tiheä vuoroväli johtavat epätasomalliseen liikennöintiin, jossa vaunut muiden hidasteiden lisäksi hidastavat vielä toisiaan.

Tilanteelta välttyttäisiin, jos raitiojärjestelmien suunnittelun perustaksi otettaisiin täsmällinen liikennöinti. Silloin sujuvan liikennöinnin asettamien reunaehtojen, kuten minimivuorovälin, ja liikenteen kysynnän avulla voitaisiin määritellä linjastolle tarvittavan vaunun kapasiteetti. Suuremman kapasiteetin omaava vaunu pystyy kuljettamaan saman määrän ihmisiä harvemmillä vuoroväleillä, jolloin linjaston ruuhkautuminen pystytään välttämään.

Koska Helsingin raitiojärjestelmä on jo rakentunut, on sen kohtaamat haasteet kovin erinäköisiä kuin täysin puhtailta suunnittelijain pöydiltä toteutukseen päätyvän järjestelmän. Haasteet ovat erimuotoisia, mutta ovatko ne kuitenkin pohjimmiltaan niin erilaisia? Suunnittelukäytäntöjen nykyaikaistamisessa on kuitenkin loppujen lopuksi kyse priorisointipäätöksistä. Yhtä lailla Reims kuin Tamperekin joutuu toteuttamaan uuden, tilaa ja liikennevalokiertoja ”sotkevan”, järjestelmän niin katutilaansa kuin asukkaidensa sydämiin.

Lähteet

Alku, A. 2007. Mennäänkö Metrolla – Joukkoliikenteen uusi aika. Helsinki: Anria Kustannus Oy. 141 s. ISBN 978-952-99885-0-1.

Alku, A. 2014. Tutustuminen Nottinghamin ja Reimsin raitioteihin – Tampereen ja Turun kaupunkien edustajien tutustumismatka 1.–4.12.2013. Saatavissa: http://www.tampere.fi/material/attachments/m/PCZscwaAG/matkaraportti_nottingham_reims_140123.pdf

Banverket. 2009. Spårväg – Guide för etablering. Banverket 2009:7. 122 p. Saatavissa: <http://banportalen.banverket.se/Banportalen/pages/5858/Sparvag---guide-for-etablering-lagupplöst.pdf>. ISBN 978-91-633-5845-6.

Hakala, P. 2014. Raitiotien kytkeytyminen liikennevalojärjestelmään. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan osasto. Tampere. 121 s.

HKL. 2005. Joukkoliikenteen kustannusselvitys. HKL:n julkaisusarja D: 2/2005. Helsinki. 31 s. Saatavissa: <http://www.hel.fi/wps/wcm/connect/9375c08040888ef8a98fbbdc59c9b43f/Joukkoliikenteen%2Bkustannusselvitys%2B2004.pdf?MOD=AJPERES>

HKL. 2009. Joukkoliikenteen luotettavuuden kehittämisohjelma A-osa. HKL:n julkaisusarja D: 10/2009. Helsinki. 70 s. Saatavissa: https://www.hsl.fi/sites/default/files/uploads/luotettavuuden_kehittamisohjelma_a_osa.pdf

HKL. 2013. HKL- Raitioliikenne, radat. [WWW]. [Viitattu 20.9.2014]. Saatavissa: <http://www.hel.fi/hki/HKL/fi/HKL-Raitioliikenne/Radat>

HSL. 2011. Selvitys syväuraisten vaihteiden ja raideristeysten käyttöönoton hyödyistä ja edellytyksistä Helsingin raitiotieverkolla. HSL:n julkaisuja 4/2011. Helsinki: Edita Prima Oy. 68 s. Saatavissa: https://www.hsl.fi/sites/default/files/uploads/syvaura_selvitys_2011_4.pdf. ISSN 1798-6184 (pdf) ISSN 1798-6176 (nid.).

HSL. 2012a. Joukkoliikenteen luotettavuuden kehittämisohjelma. HSL:n julkaisuja 11/2012. Helsinki: Edita Prima Oy. 85 s. Saatavissa: <https://www.hsl.fi/sites/default/files/uploads/luoke.pdf>. ISSN 1798-6184 (pdf) ISSN 1798-6176 (print)

HSL. 2012b. Joukkoliikenteen yksikkökustannukset 2011. HSL:n julkaisuja 16:2012. Helsinki: Edita Prima Oy. 44 s. Saatavissa: https://www.hsl.fi/sites/default/files/uploads/joukkoliikenteen_yksikkokustannukset_2011.pdf. ISSN 1798-6184 (pdf) ISSN 1798-6176 (nid.).

HSL. 2013a. Raitiolinjojen 2, 3 ja 7 kehittämissuunnitelma. HSL:n julkaisuja 24/2013. Helsinki. 39 s. Saatavissa: https://www.hsl.fi/sites/default/files/uploads/raitiolinjojen_2_3_7_kehittamissuunnitelma.pdf. ISSN 1798-6184 (pdf) ISSN 1798-6176 (nid.).

HSL 2013b. Vuosikertomus 2013. Saatavissa: https://www.hsl.fi/sites/default/files/uploads/hsl_vuosikertomus_2013.pdf

HSL. 2014. Raitioliikenteen linjastosuunnitelma 2014–2024 (Luonnos 17.3.2014). [WWW]. [viitattu: 17.12.2014]. Saatavissa: https://www.hsl.fi/sites/default/files/uploads/raili_raporttiluonnos_2014-03-17.pdf. ISSN 1798-6184 (pdf) ISSN 1798-6176 (nid.)

Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto. 2014. Liikenteen kehitys Helsingissä 2013. Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston yleissuunnitteluosaston selvityksiä 2014:1. Helsinki. 48 s. Saatavissa: http://www.hel.fi/hel2/ksv/julkaisut/los_2014-1.pdf. ISSN 0787-9024.

Liikennevalot.info. 2014. VAROVA – kiskoylitysvalot. [WWW]. [Viitattu 1.12.2014]. Saatavissa: <http://www.liikennevalot.info/tieto/varova.shtml>.

Tampereen kaupunki. 2013. Suunnitteluperusteet – Tampereen ja Turun moderni raitiotie. Saatavissa: <http://www.tampere.fi/material/attachments/s/6MorzXEou/suunnitteluperusteet31122013.pdf>

Tampereen kaupunki. 2014. Tampereen raitiotie, yleissuunnitelma. Tampere: Kopijyvä. 100 s. Saatavissa: <http://www.tampere.fi/material/attachments/t/Rlz1dsMYe/tampereenraitiotieyleissuunnitelma.pdf>

Transtech/HKL. 2012. Helsingin uusi raitiovaunu –esite. [Viitattu: 20.9.2014]. Saatavissa: http://www.hel.fi/wps/wcm/connect/205fa000401d1e3bbe4bbe3ce15fc85f/2012-08-27_Ratikkaesite_001_Muutokset_LORES_01.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=205fa000401d1e3bbe4bbe3ce15fc85f